

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ СЕМЕЙСТВА АСТЕРОИДОВ HOBSON

М. А. Васильева, Э. Д. Кузнецов

Уральский федеральный университет

Обнаружено 11 новых членов семейства астероидов Hobson: (537249) 2015 HM190, 2007 EH116, 2007 HC54, 2008 WV149, 2010 GN203, 2011 SU302, 2015 FV225, 2015 HV138, 2015 OP104, 2015 PM156, 2019 PS30. Для всех астероидов семейства получены оценки скорости дрейфа большой полуоси, обусловленные эффектом Ярковского, радиусов сфер Хилла и вторых космических скоростей. Проведено моделирование динамической эволюции астероидов с учетом эффекта Ярковского. Получены оценки возраста пар астероидов, входящих в семейство, на основе результатов моделирования. Возраст семейства астероидов Hobson составляет около 400 тыс. лет.

INVESTIGATION OF THE DYNAMIC EVOLUTION OF HOBSON ASTEROID FAMILY

M. A. Vasileva, E. D. Kuznetsov

Ural Federal University

We have found 11 new members of the Hobson asteroids family: (537249) 2015 HM190, 2007 EH116, 2007 HC54, 2008 WV149, 2010 GN203, 2011 SU302, 2015 FV225, 2015 HV138, 2015 OP104, 2015 PM156, 2019 PS30. We estimated the Yarkovsky semimajor axis drift rate, the Hill sphere's radii, and the escape velocity for all asteroids of the family. Simulation of the dynamic evolution of asteroids with allowance for the Yarkovsky effect has been carried out. Based on the simulation results, estimates of the asteroid pairs' age included in the family are obtained. The age of the Hobson asteroid family is about 400 kyr.

Введение

Семейство астероидов Hobson впервые было описано в работе Praves и Vokrouhlický в 2009 г. [1]. Они обнаружили пять астероидов с очень похожими гелиоцентрическими орбитами: (18777) Hobson, (57738) 2001 UZ160, (363118) 2001 NH14, (381414) 2008 JK37, (465404) 2008 HQ46 и оценили возраст семейства менее 500 тыс. лет. В дальнейшем Розаев и Плавалова обнаружили еще три члена семейства: (436620) 2011 LF12, (520394) 2014 JJ10, 2014 NH103. Они заключили, что наиболее вероятный возраст семейства Hobson составляет 365 ± 67 тыс. лет [2]. Praves и др. в работе [3] обнаружили дополнительно три новых астероида, принадлежащих семейству: (450571) 2006 JH35, 2014 OJ66, 2015 KA91. Интегрирование орбит назад по времени показало, что возраст семейства около 350 тыс. лет, причем нижняя граница возраста 280 тыс. лет, а верхняя определена менее четко. В работе [4] найден новый вероятный член семейства: 2017 SQ83.

Особенность семейства Hobson: в его состав входят два крупных астероида: (18777) Hobson и (57738) 2001 UZ160. В работе [3] обсуждаются два механизма формирования этого семейства: 1) в результате каскадного дробления и 2) в результате кратерирования.

Семейство астероидов Hobson находится в окрестности резонанса средних движений 3:1 с Юпитером и векового резонанса $g + g_5 - 2g_6$. Здесь g , g_5 , g_6 — аргументы перигетров орбит астероида, Юпитера и Сатурна соответственно.

Таблица 1. Физические и динамические параметры астероидов семейства Hobson

Астероид	D , км	R_{Hill} , км	v_2 , м/с	$ \dot{a}_{max} \cdot 10^4$, а. е./млн лет
(18777) Hobson	2.760	629.7	1.60	1.10
(57738) 2001 UZ160	2.460	561.5	1.43	1.23
(363118) 2001 NH14	1.008	230.2	0.58	3.01
(381414) 2008 JK37	0.984	224.6	0.57	3.08
(436620) 2011 LF12	1.080	246.2	0.63	2.82
(450571) 2006 JH35	0.870	198.4	0.50	3.49
(465404) 2008 HQ46	0.940	214.5	0.54	3.23
(520394) 2014 JJ10	0.707	161.3	0.41	4.30
(537249) 2015 HM190	0.911	207.6	0.53	3.34
2007 EH116	0.898	205.0	0.52	3.39
2007 HC54	0.985	224.7	0.57	3.09
2008 WV149	0.672	153.2	0.39	4.53
2010 GN203	0.707	161.2	0.41	4.30
2011 SU302	0.554	126.3	0.32	5.49
2014 HH103	0.747	170.5	0.43	4.07
2014 OJ66	0.494	112.7	0.29	6.14
2015 FV225	0.819	186.9	0.48	3.72
2015 HV138	0.472	107.5	0.27	6.45
2015 KA91	0.666	151.8	0.39	4.57
2015 OP104	0.651	148.4	0.38	4.67
2015 PM156	0.531	121.2	0.31	5.72
2017 SQ83	0.624	142.5	0.36	4.86
2019 PS30	0.485	110.5	0.28	6.28

В настоящей работе планируется оценить возраст семейства Hobson на основе анализа возрастов пар, образуемых астероидами семейства с двумя наиболее крупными астероидами: (18777) Hobson и (57738) 2001 UZ160. Динамическая эволюция астероидов семейства Hobson будет исследоваться численным методом.

Описание методики

Поиск новых членов семейства Hobson проводился путем вычисления метрик Холшевникова ϱ_2 и ϱ_5 [5] на основе оскулирующих элементов орбит на эпоху MJD 59 000, 0 (00^h00^m00^s 31.05.2020) из базы данных AstDyS. Критерием отбора служило одновременное выполнение двух условий: $\varrho_2 < 0.008$ а. е.^{1/2} и $\varrho_5 < 0.002$ а. е.^{1/2}. При выборе критериев использовались оценки максимальных значений метрики ϱ_5 для молодых семейств астероидов [6], которые были уменьшены в 3–5 раз для того, чтобы исключить ложноположительный результат при отборе. В результате было обнаружено 11 новых членов семейства Hobson: (537249) 2015 HM190, 2007 EH116, 2007 HC54, 2008 WV149, 2010 GN203, 2011 SU302, 2015 FV225, 2015 HV138, 2015 OP104, 2015 PM156, 2019 PS30.

Моделирование динамической эволюции астероидов семейства Hobson проводилось численным методом с помощью программы Orbit9 комплекса OrbFit на интервале 1 млн лет. Учитывались возмущения от больших планет и карликовой планеты Плутон, сжатие Солнца, релятивистские эффекты и влияние эффекта Ярковского. Скорость дрейфа большой полуоси астероида оценивалась на основе известного значения скорости дрейфа большой полуоси астероида (101955) Веппи по методике, изложенной в работах [7, 8]. Получены оценки максимальных значений модуля скорости дрейфа больших полуосей астероидов $|\dot{a}_{max}|$, обусловленных влиянием эффекта Ярковского. Также для всех астероидов были выполнены оценки радиусов сфер Хилла R_{Hill} и вторых космических скоростей v_2 (табл. 1). Для оценки физических и динамических параметров астероидов использовался подход, изложенный в [9].

Таблица 2. Возраст пар относительно двух самых крупных астероидов семейства

Астероид	(18777) Hobson	(57738) 2001 UZ160
	Возраст пары, тыс. лет	Возраст пары, тыс. лет
(57738) 2001 UZ160	320 ± 100	—
(363118) 2001 NH14	220 ± 100	260 ± 35
(381414) 2008 JK37	430 ± 65	400 ± 110
(436620) 2011 LF12	310 ± 47	290 ± 140
(450571) 2006 JH35	330 ± 65	330 ± 85
(465404) 2008 HQ46	200 ± 97	320 ± 66
(520394) 2014 JJ10	315 ± 110	340 ± 38
(537249) 2015 HM190	190 ± 70	265 ± 59
2007 EH116	300 ± 60	265 ± 65
2007 HC54	440 ± 120	250 ± 68
2008 WV149	230 ± 85	270 ± 34
2010 GN203	70 ± 7	200 ± 25
2011 SU302	210 ± 100	315 ± 36
2014 HH103	190 ± 140	300 ± 88
2014 OJ66	240 ± 46	265 ± 55
2015 FV225	220 ± 54	300 ± 45
2015 HV138	520 ± 315	300 ± 270
2015 KA91	345 ± 45	300 ± 85
2015 OP104	250 ± 100	95 ± 30
2015 PM156	300 ± 80	250 ± 70
2017 SQ83	50 ± 15	230 ± 85
2019 PS30	230 ± 60	265 ± 42

Оценки возрастов пар астероидов и семейства Hobson

Для каждого астероида на основе номинальных элементов орбиты рассматривалось пять сценариев эволюции при различных значениях скорости дрейфа большой полуоси, соответствующих различным углам φ наклона оси вращения астероида к плоскости его орбиты: $\dot{a} = 0$ при $\varphi = 90^\circ$ или 270° ; $\dot{a} = \pm|\dot{a}_{max}|$ при $\varphi = 0^\circ$ или 180° соответственно; $\dot{a} = \pm 1/2|\dot{a}_{max}|$ при $\varphi = 60^\circ$ или 240° соответственно.

Если предположить, что астероиды семейства формировались в результате дробления родительских тел в результате низкоскоростных соударений, то моменту образования пары должны соответствовать условия, когда расстояние между астероидами имеет тот же порядок, что и радиус сферы Хилла, а относительная скорость сравнима со второй космической скоростью. Среди значений относительного расстояния между астероидами отбирались те, которые удовлетворяют условию $\Delta r < 10R_{Hill}$ при относительной скорости $\Delta v < 5v_2$. Такие моменты сближений были обнаружены для всех пар «астероид (18777) Hobson — астероид семейства» и «астероид (57738) 2001 UZ160 — астероид семейства».

Для 25 вариантов эволюции каждой пары астероидов внутри семейства были найдены минимальные значения метрики ϱ_2 и соответствующие им моменты времени. Для последующего анализа были отобраны только те варианты, в которых значение метрики ϱ_2 не превышало $0.004 \text{ а. е.}^{1/2}$. Оценка возраста пары проводилась по среднему взвешенному значению времени, где за вес бралась величина, обратная метрике ϱ_2 . В качестве диапазона возможного значения возраста пары было взято среднеквадратическое отклонение. В табл. 2 представлен возраст пар относительно двух самых крупных астероидов семейства — (18777) Hobson и (57738) 2001 UZ160.

Затем были рассмотрены все 253 комбинации пар астероидов внутри семейства. Орбиты большинства из них сходятся менее чем 400 тыс. лет назад, что согласуется с оценками возраста семейства, полученными другими авторами менее 500 тыс. лет [1] и 365 ± 67 тыс. лет [2].

Обсуждение результатов и заключение

Полученные оценки возрастов пар имеют большие стандартные отклонения, так как рассматривались основные варианты динамической эволюции пар орбит с учетом влияния эффекта Ярковского, включающие как сближение орбит, так и их расхождение. Полученные оценки позволяют оценить возраст семейства в целом. Однако построить сценарий формирования семейства Hobson в результате каскадного дробления крупнейших астероидов семейства — (18777) Hobson и (57738) 2001 UZ160 — не представляется возможным.

Важным направлением дальнейших исследований должно стать определение скорости дрейфа большой полуоси или негравитационного ускорения A_2 , вызываемых влиянием эффекта Ярковского. Для этого можно использовать методы, обсуждаемые в работе [10].

После уточнения параметров, описывающих влияние эффекта Ярковского, необходимо выполнить исследование вероятностной эволюции орбит астероидов семейства Hobson с учетом ошибок определения элементов орбит. Корректный учет влияния эффекта Ярковского при моделировании вероятностной эволюции позволит получить надежные оценки возрастов пар астероидов с учетом близости семейства к областям резонанса средних движений 3:1 с Юпитером и векового резонанса $g + g_5 - 2g_6$. На основе этих оценок будут строиться сценарии формирования семейства астероидов Hobson.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2020-0038.

Библиографические ссылки

- [1] *Pravec P., Vokrouhlický D.* Significance analysis of asteroid pairs // *Icarus*. — 2009. — Vol. 204, № 2. — P. 580–588.
- [2] *Rosaev A., Plávalová E.* On the young family of 18777 Hobson // *Icarus*. — 2017. — Vol. 282. — P. 326–332.
- [3] *Pravec P., Fatka P., Vokrouhlický D. et al.* Asteroid clusters similar to asteroid pairs // *Icarus*. — 2018. — Vol. 304. — P. 110–126.
- [4] *Kuznetsov E. D., Vasileva M. A.* On New Members of Asteroid Clusters Similar to Asteroid Pairs // 82nd Annual Meeting of The Meteoritical Society. — 2019. — Vol. 82. — P. 6192.
- [5] *Kholshchikov K. V., Kokhirova G. I., Babadzhanyan P. B., Khamroev U. H.* Metrics in the space of orbits and their application to searching for celestial objects of common origin // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2016. — Vol. 462, № 2. — P. 2275–2283.
- [6] *Kuznetsov E., Safronova V.* Application of metrics in the space of orbits to search for asteroids on close orbits // *Planet. Space Sci.* — 2018. — Vol. 157. — P. 22–27.
- [7] *Spoto F., Milani A., Knežević Z.* Asteroid family ages // *Icarus*. — 2015. — Vol. 257. — P. 275–289.
- [8] *Del Vigna A., Faggioli L., Milani A. et al.* Detecting the Yarkovsky effect among near-Earth asteroids from astrometric data // *Astron. Astrophys.* — 2018. — Vol. 617. — P. A61. 1805.05947.
- [9] *Kuznetsov E. D., Rosaev A. E., Plavalova E. et al.* A Search for Young Asteroid Pairs with Close Orbits // *Solar System Research*. — 2020. — Vol. 54, № 3. — P. 236–252.
- [10] *Galushina T. Yu., Syusina O. M.* Comparative Analysis of Methods for Obtaining the Yarkovsky Effect Parameter from Observations // *Russian Physics Journal*. — 2020. — Vol. 63, № 3. — P. 420–425.